

## **ZOOMORFISMO Y BIO-ARQUITECTURA. ENTRE LA ANALOGÍA FORMAL Y LA APLICACIÓN DE LOS PRINCIPIOS DE LA NATURALEZA**

*Llorens Duran, J.I. Dr. Arqto, Catedrático de Construcción  
Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Escuela de Arquitectura de  
Barcelona, España  
ignasi.llorens@upc.edu*

### **Resumen**

Buena parte de la innovación tecnológica contemporánea contempla al medio ambiente, la ecología y la sostenibilidad como preocupaciones principales. La construcción es uno de los sectores más implicados, por lo que está formulando propuestas que afectan tanto a los materiales, elementos y sistemas, como al diseño y la concepción.

Algunos de los caminos iniciados con este objetivo son el zoomorfismo y la bioarquitectura, que recurren a los seres vivos como fuente de inspiración. La naturaleza proporciona modelos solventes porque hace más de 500 millones de años que aplica los principios de economía, eficacia, adaptación y sostenibilidad. Sin embargo, la naturaleza como modelo produce efectos contrarios a los deseados cuando se substituye la aplicación de sus principios por la analogía formal. Por ello se han investigado algunos casos que ilustran ambos caminos y se presentan algunas claves para distinguirlos.

### **Introducción**

La evolución de la tecnología y de la cultura en general a lo largo del siglo XX ha conducido a la necesidad de considerar sus implicaciones para el medio ambiente y la sostenibilidad (A.Cuchí, 2005). Con objeto de reducir el impacto ambiental, la escasez de recursos disponibles y evitar el agotamiento de la capacidad de los sistemas naturales para absorber la contaminación, es preciso aplicar la llamada estrategia de las 4R: reducir, reutilizar, reciclar y rehabilitar (B.Edwards, 2005).

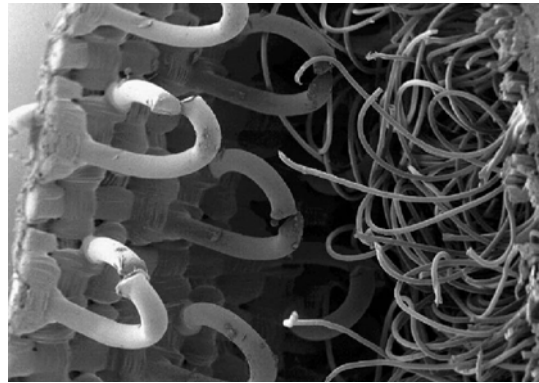
Uno de los caminos iniciados es el del biomimetismo. Consiste en la observación de los seres vivos, que llevan más de 500 millones de años evolucionando en equilibrio con su medio natural sin comprometer la continuidad general del sistema.

### **La aplicación de los principios de la naturaleza**

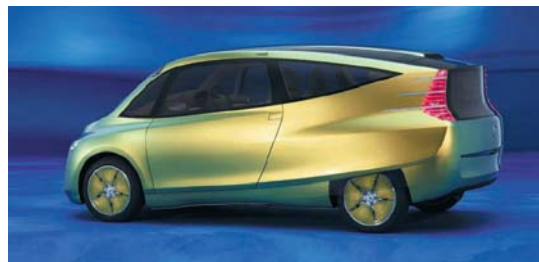
Los modelos que proporciona la naturaleza no suelen ser aplicables directamente a la industria porque son el resultado de una evolución muy lenta destinada a mejorar la supervivencia y la reproducción. Para conseguir estos objetivos, los seres vivos se basan en unos principios tales como el ahorro energético, el reciclaje, la optimización de las formas, la economía de materiales locales asequibles, la adaptación al medio o la sostenibilidad. Aunque los objetivos no sean los mismos, estos principios sí que son aplicables a la construcción para ahorrar materiales y energía, obtener soluciones más eficientes y sostenibles, reducir el coste o mejorar del comportamiento y la durabilidad.

A continuación se presentan algunos casos junto con los resultados obtenidos.

## El biomimetismo aplicado a la industria

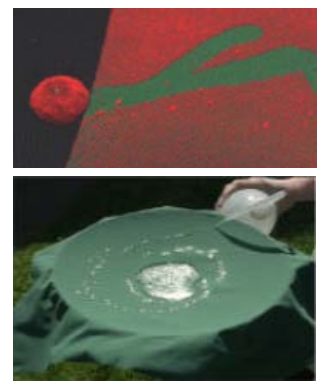


Observando cómo los cardos se enganchaban a los pelos de su perro, George de Mestral inventó el sistema de sujeción basado en múltiples ganchos flexibles patentado en 1955 con el nombre de “Velcro” = “**velours**” (terciopelo) + “**crochet**” (gancho). (Swiss Info.Ch, 2007)



Observando la maniobrabilidad de los peces que nadan entre corales, Mercedes Benz optimiza la resistencia al aire de sus vehículos. (Daimler Chrysler, 2005)

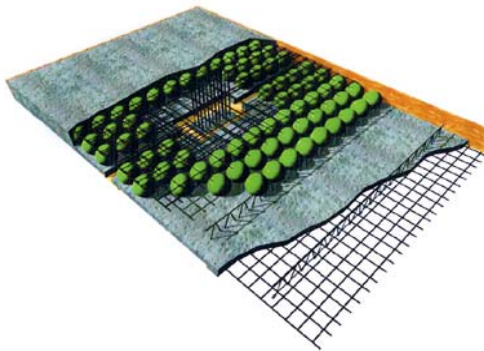
## El biomimetismo aplicado a los productos y elementos



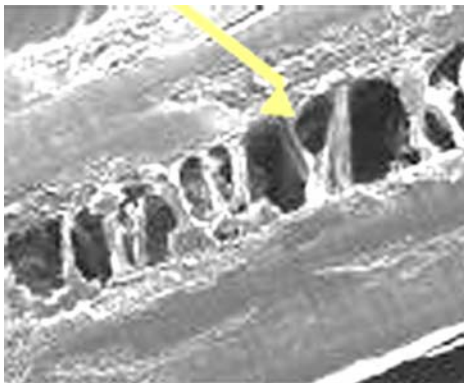
Se ha investigado el mecanismo autolimpiador de la hoja de loto que repele el agua. Cuando llueve, las gotas no la mojan. Se deslizan arrastrando la suciedad depositada sobre la superficie. Este resultado se aplica a tejidos y pinturas autolimpiantes. (Institute of Textile Technology and Process Engineering, Denkendorf)



Los avisperos y las colmenas consiguen aguantar 45 veces su peso gracias a la disposición hexagonal de sus celdas. Esta disposición se usa para aligerar los paneles y las estructuras. (Museo de Ciencias Naturales, 2004)



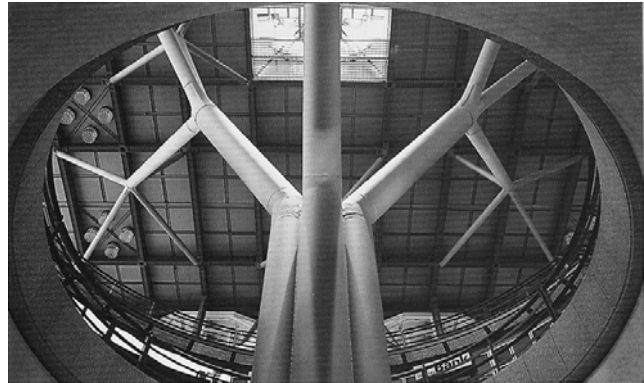
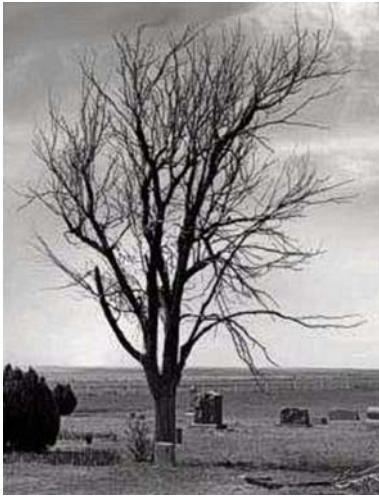
Reducir la cantidad de material en las áreas menos solicitadas es otro principio que se aplica en los aligeramientos, como las bovedillas de los forjados o más recientemente, el sistema "Bubble Deck" de aligeramiento de las placas bidireccionales de hormigón armado mediante pelotas de plástico. (Bubbledeck, 2006)



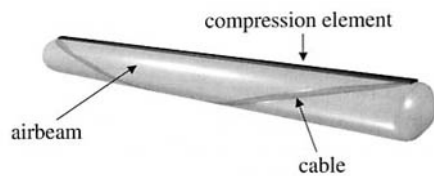
Los perfiles de fibra poltrusionados a semejanza del tallo vegetal. (Institute of Textile Technology and Process Engineering, Denkendorf)



## El biomimetismo aplicado a los sistemas



Las estructuras arborescentes permiten reducir drásticamente la luz de flexión y, por tanto, aligerarlas considerablemente. (Acuario de Almuñécar, 2007 y Aeropuerto de Stuttgart, 1990)



The basic set up of a Tensairity girder.



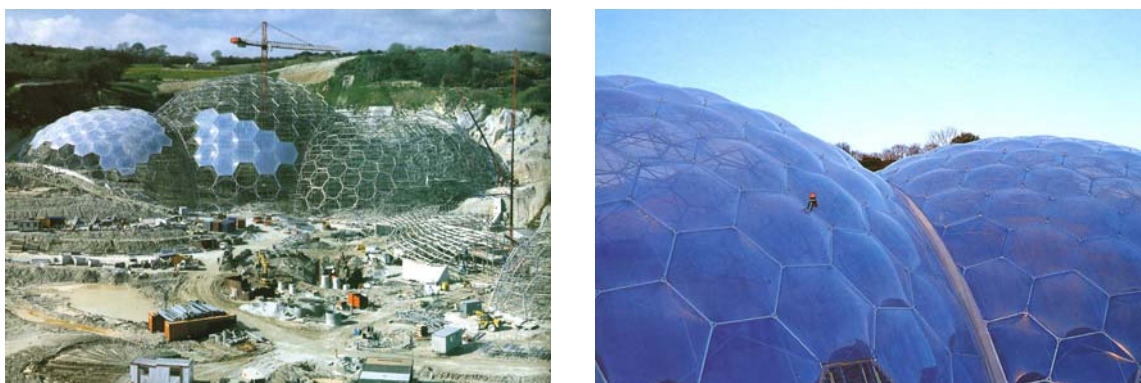
Las vigas neumáticas “Tensairity” se basan en la combinación de compresión y tracción que rodean a un fluido de los tallos vegetales. (Tensairity, 2003)



Las estructuras plegables pueden adaptarse a las condiciones climáticas. Parasoles de la Mezquita de Medina, 1992 y Pabellón de Venezuela, Hannover 2000



La refrigeración pasiva utilizada por las termitas se aplicó a las viviendas trogloditas de Uchisar y ha permitido construir recientemente un edificio de oficinas en Harare (Zimbabwe) sin refrigeración mecánica. (D.G.McNeil, 1997)



Las cúpulas del Eden Project en Cornwall optimizan la estructura utilizando marcos hexagonales con los que se encierran superficies máximas con contornos mínimos contiguos. (M.Jackson, 2000)

## Las limitaciones del biomimetismo

La transposición de las soluciones de la naturaleza requiere tener en cuenta algunas diferencias sustanciales que se indican en el cuadro siguiente:

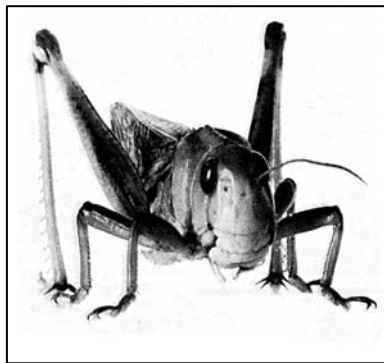
SERES VIVOS	OBJETOS
<b>Geometría</b>	
No tienen ángulos de 90°. Las superficies son curvas y redondeadas.	Tienen muchos ángulos agudos y de 90°. Abundan las superficies planas con aristas.
<b>Estructura y composición</b>	
Son estructuras húmedas y flexibles. No tienen metales. Tienen muchos materiales compuestos. Proliferan los componentes microscópicos. Producen materiales heterogéneos como la madera.	Sus estructuras son secas y rígidas. Tienen metales. Tienen pocos materiales compuestos. Son muy aparatos. Utilizan materiales homogéneos como el acero.
<b>Mecanismos</b>	
Las articulaciones se doblan (La oreja del gato cambia de orientación variando las curvaturas). Los motores (músculos) son de contracción. No utilizan ruedas ni ejes. La energía se almacena de forma gravitatoria (al andar) y elástica (al saltar). El músculo es la suma de pequeñas partes idénticas cuyo funcionamiento individual no depende de las demás.	Las bisagras cambian la orientación deslizando alrededor de un eje. Los motores son de expansión. Utilizan ruedas y ejes. La energía se almacena de forma gravitatoria (péndulo y contrapeso), elástica (muelle, arco, ballesta), eléctrica (batería) e inercial (torno). El motor es una máquina que no puede prescindir de ninguna parte.
<b>Comportamiento estructural</b>	
Las curvas tensión-deformación son cóncavas. Interaccionan con las solicitaciones y se adaptan. Luchan contra las acciones desfavorables y aprovechan las favorables	Las curvas tensión-deformación son convexas o rectas. Resisten pasivamente y ceden a las fuerzas que los solicitan. (La duna se forma por la acción del viento).
<b>Evolución</b>	
Empezaron mucho antes y son mucho más lentos. Evolucionan por la mejora del mecanismo reproductor y la supervivencia. Se realizan en el momento de la reproducción. Se renuevan constantemente. Al cabo de un año las células se han renovado.	Evolucionan mucho más deprisa. Evolucionan por invención, descubrimiento, desarrollo y planificación. Los objetos diseñados funcionan desde el principio. No se renuevan. Se mantienen, se erosionan o se degradan. (Las moléculas de la pirámides son las originales).



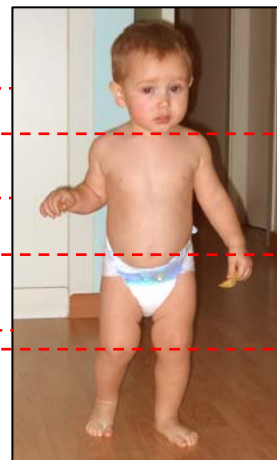
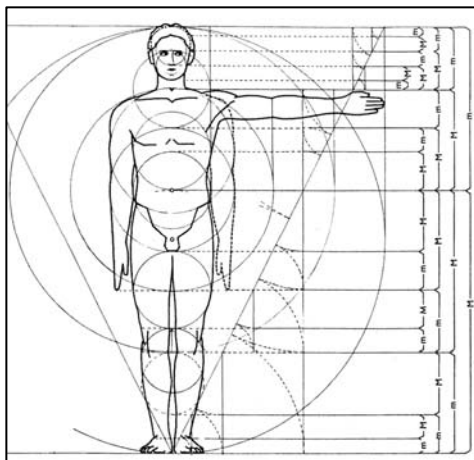
## Los riesgos de la analogía formal en la arquitectura. El cambio de escala. Los efectos colaterales del zoom.

El biomimetismo en arquitectura corre el riesgo de limitarse a la analogía formal. Las formas naturales son el resultado de un conjunto de factores que interaccionan, como por ejemplo el medio, el comportamiento estructural, la función y la economía. Las imitaciones que no tienen en cuenta los principios generadores de las mismas, el contexto en el que se han desarrollado y los requerimientos que satisfacen, pueden conducir fácilmente a resultados contrarios a los obtenidos por el modelo original. Es decir, a edificios caros (de construir y de mantener), devoradores de energía y recursos, poco útiles y poco eficientes, inadaptados, insostenibles o irrecuperables.

Uno de los errores que suelen cometerse con más frecuencia es el cambio de escala. El cambio de escala modifica el comportamiento y las características del modelo que dependen de la geometría porque altera la proporción entre longitud, superficie y volúmenes. La relación con el exterior aumenta al disminuir el tamaño. Para los animales pequeños la gravedad importa menos que la resistencia aerodinámica. La relación entre el peso propio y la sección transversal aumenta al aumentar el tamaño, de manera que los animales grandes son proporcionalmente



Obsérvese que la naturaleza no cambia nunca la escala. Si cambia el tamaño, cambia la forma, las proporciones o el material. (H.Hosdorf, 1972)



Los organismos al crecer, modifican las proporciones entre las partes para no perder la funcionalidad.

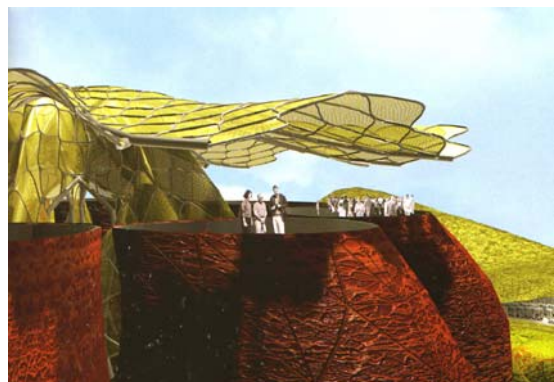
## Analogías formales



Carpa y babosa de M.Sorkin, 1991 y pez de F.Gehry en el Puerto Olímpico de 1992



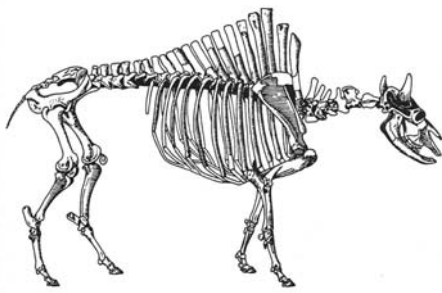
Estación de Lyon- Satolas, 1994 y ampliación del museo de arte de Milwaukee, 2001 de S.Calatrava



Los armadillos del “Parco de la Música” de R.Piano, Roma, 2002 y el Arca del Mundo, Costa Rica, 2002



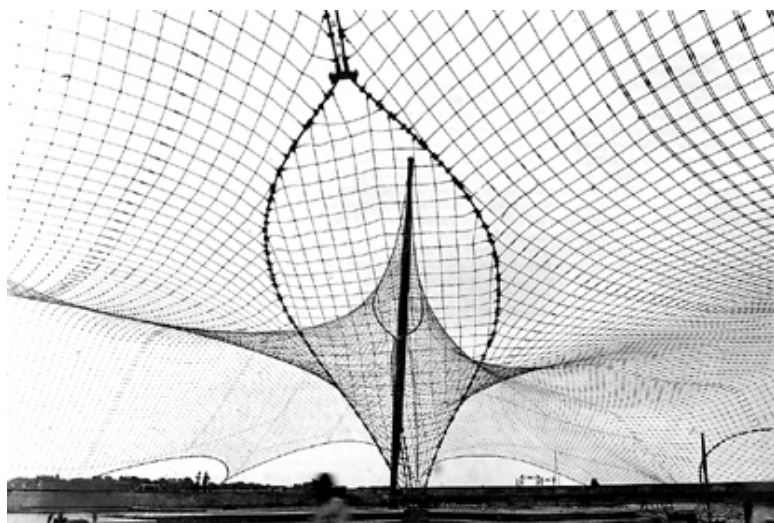
## Aplicaciones de los principios de la naturaleza



Estructuras: el esqueleto del bisonte y el puente de Forth, T.Bouch, 1878. La viga Warren del búfalo y el museo Menil de Houston, R.Piano, 1987.



Protección: la piel como mecanismo regulador. Mediateca de Sendai, Toyo Ito, 2001. Fachada ventilada del pabellón del Reino Unido en la Expo de Sevilla, N.Grimshaw, 1992. Space Centre en Leicester, N.Grimshaw, 2002.



La forma adaptada a las características de los materiales: puente de Salginatobel, Grisonés, R.Maillart, 1930. Pabellón de Alemania en Montreal, F.Otto, 1967

## Conclusiones:

1.- Los principios de la construcción de los seres vivos pueden proporcionar inspiración y sugerencias porque la naturaleza ha destilado durante millones de años la economía, la eficacia, la adaptación y la sostenibilidad.

2.- Estos principios se pueden aplicar a la construcción teniendo en cuenta el cambio de contexto y de requerimientos para:

- reducir el peso, la cantidad y el coste de los materiales necesarios aligerando los elementos constructivos
- ahorrar energía en la fabricación y el uso
- mejorar el comportamiento térmico
- reciclar materiales y reducir la cantidad de residuos producidos por la construcción y el uso del edificio
- simplificar la construcción, el uso y mantenimiento recurriendo a soluciones más simples (por ejemplo pasivas).
- reducir el mantenimiento (aumentando por ejemplo la durabilidad de las protecciones)
- reducir los accidentes, responsabilidades y demandas derivados por ejemplo de los riesgos de caídas, resbalamiento, impacto, atrapamiento o manipulación de elementos pesados entre otros.

3.- De la observación exclusiva de la forma y la imitación pueden resultar efectos contrarios a los obtenidos por el modelo original, porque no se trata de copiar sino de aprender.

## Bibliografía

Bubbledeck, 2006: <http://www.bubbledeck.com>

A.Cuchí, 2005: "*Arquitectura y sostenibilidad*". Ediciones UPC, Barcelona

Daimler Chrysler, 2005: "*High-tech Report 2*",

[http://www.daimlerchrysler.com/Projects/c2c/channel/documents/783295\\_Gone\\_Fishin\\_.pdf](http://www.daimlerchrysler.com/Projects/c2c/channel/documents/783295_Gone_Fishin_.pdf)

D'Arcy Wentworth Thompson, 1980: "*Sobre el crecimiento y la forma*". Blume, Madrid

A.M.Dunster, 2007: "*Naturally innovative*", Information Paper 11/07, BRE Press.

B.Edwards, 2005: "*Rough Guide to Sustainability*". RIBA Enterprises, Londres.

Frisch, Karl von, 1974: "*Animal architecture*". Londres y Nueva York: Harcourt Brace Jovanovich.

H.Hosdorf, 1972: "*Modelos reducidos*". Instituto Eduardo Torroja, Madrid.

M.Jackson, 2000: "*Eden: the first book*". Eden Project, Cornwall

J.Llorens, Ch.García-Diego & H.Pöppinghaus, 2007: "*The Almuñécar Aquarium textile roof*", TensiNews 13, p.9.

D.G.McNeil, 1997: "*Termite mounds inspire design of Zimbabwe Office Complex*". New York Times, February 13.

Museo de Ciencias Naturales, 2004: "*Los otros arquitectos*". Barcelona: Gustavo Gili.

H.C.Schulitz et al. 2000: "*Steel Construcción Manual*", Birkhäuser, Basel

Ph.Steadman, 1982: "*Arquitectura y naturaleza*". Blume, Madrid

Swiss Info.Ch, 2007: "*How a Swiss invention hooked the World*",

<http://www.swissinfo.org/spa/busca/Result.html?siteSect=882&ty=st&sid=7402384>

Tensairity, 2003: <http://www.airlight.biz/>

S.Vogel, 2000: "*Ancas y palancas*", Tusquets Editores, Barcelona

S.A.Wainweight et al. 1980: "*Diseño mecánico en organismos*". Blume, Madrid